

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC
BACHAREL EM TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO

CASSIANO TRAMONTIN BELETTINI

**ESTUDO DE VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DA TECNOLOGIA
POWER LINE COMMUNICATION - PLC EM REDES LOCAIS EM
COMPARATIVO COM CABO DE PAR TRANÇADO**

ARARANGUÁ

2015

CASSIANO TRAMONTIN BELETTINI

**ESTUDO DE VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DA TECNOLOGIA
POWER LINE COMMUNICATION - PLC EM REDES LOCAIS EM
COMPARATIVO COM CABO DE PAR TRANÇADO**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido a Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Tecnologias da Informação e Comunicação.

Orientador: Prof. Dr. Vilson Gruber.

ARARANGUÁ

2015

CASSIANO TRAMONTIN BELETTINI

**ESTUDO DE VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DA TECNOLOGIA
POWER LINE COMMUNICATION - PLC EM REDES LOCAIS EM
COMPARATIVO COM CABO DE PAR TRANÇADO**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido a
Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos
requisitos necessários para obtenção do grau de
Bacharel em Tecnologias da Informação e
Comunicação.

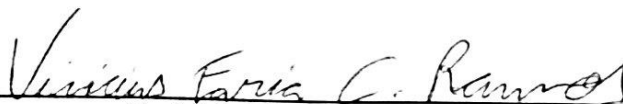
Araranguá, 03 de dezembro de 2015.



Prof. Vilson Gruber, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Roderval Marcelino, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Vinicius Faria Culmant Ramos, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

*Dedico este trabalho aos meus pais,
Salvio e Alzira, fontes de minha inspiraçaõ
de vida.*

AGRADECIMENTOS

Produzir um Trabalho de Conclusão de Curso não é uma tarefa fácil, mas também não é tão difícil. Exige dedicação, empenho do acadêmico, e também a paciência e o apoio de quem convive com ele. Foram momentos de ansiedade, nervosismo, cansaço, dúvidas, decisão, força, insistência, esforço. Apesar de tudo que nos toma conta nesse período, no final tudo acaba dando certo. Com muita paciência e determinação se pode ter um excelente resultado.

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida, e pela oportunidade de realizar este trabalho.

Devo meus mais sinceros agradecimentos aos meus pais, Salvio e Alzira, por terem me dado uma boa educação. Com eles aprendi tanta coisa que não caberia aqui. Mas nesses anos todos e a cada dia me ensinam a ser uma pessoa melhor. Com eles aprendi o que hoje em dia está se perdendo, aquela educação que vem de berço e se baseia em algumas simples palavras: bom dia, boa tarde, boa noite, com licença, muito obrigado, por favor, me desculpe. Agradeço também ao amor incondicional que aprendi com eles. Não tenho palavras para agradecê-los, pois sem eles a realização dessa graduação não seria possível.

Agradeço aos meus familiares, principalmente a meu irmão Salviano que mesmo indiretamente sempre me mandaram pensamentos positivos e sempre me felicitaram a cada conquista.

Agradeço a minha namorada, amiga, confidente, Ana, por sempre me apoiar e incentivar, mesmo nesse momento em que precisei estar ausente, obrigado por tudo, e principalmente por sempre estar ao meu lado.

Agradeço aos meus amigos Joel, Maurício, Arlindo, Giba e os demais que fizeram parte da família VAN do Giba, pelo companheirismo, risadas, bebedeiras, e inúmeros quilômetros rodados durante minha jornada acadêmica.

Agradeço a meu orientador neste projeto, Gruber. Agradeço a dedicação, o envolvimento e a confiança. Sempre me apoiando, me dando forças para que o trabalho fosse concluído com sucesso.

Jamais poderia esquecer dos meus colegas de trabalho da Contato Internet, uma vez que passo a maior parte do meu tempo em convivência com eles.

Meus sinceros agradecimentos ao Luiz, Gregory, Morgana, Richard, Alyson, e os demais.

Não poderia deixar de citar a Universidade Federal de Santa Catarina, por todo conhecimento repassado e pela oportunidade de estudar em uma das melhores universidades do país, e é claro a todo o quadro de professores e funcionários desta que fizeram parte da minha vida acadêmica, com os quais pude aprender e compartilhar a arte do saber e do viver.

Por fim, agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para minha formação acadêmica.

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível”.
(Charles Chaplin)

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo analisar a viabilidade da utilização da tecnologia PLC em redes locais em comparativo com cabo metálico de par trançado UTP. O estudo aborda a tecnologia PLC para acesso indoor. No transcorrer da pesquisa faz-se uma breve introdução sobre o PLC contando um pouco de sua história, princípios de funcionamento, principais aplicações e topologias. Também é feita uma breve introdução sobre a tecnologia de transmissão de dados por meio de cabos metálicos de par trançado UTP, contando um pouco de sua história, princípios de funcionamento, categorias e tipos de cabos existentes. O foco da pesquisa destina-se a analisar a viabilidade de utilização da tecnologia PLC em redes locais onde a passagem de cabos metálicos de par trançado não é possível ou viável devido a barreiras físicas existentes e entre outros, como por exemplos dutos para passagem dos cabos lotados ou distância entre as partes a serem interligadas. Para tal conclusão foi realizado um estudo de caso em bancada de laboratório analisando e comparando as duas tecnologias mediante os testes de HTTP, HTTP de página completa, ping para gateway, RDP e velocidade. De acordo com a pesquisa a tecnologia PLC mostra-se eficaz, e se conclui que é viável a utilização de PLC nas redes locais.

Palavras-chave: Power line communication. Broadband Power Line. Internet sob rede elétrica. Cabos par trançado UTP.

ABSTRACT

This study aims to analyze the feasibility of the use of PLC technology in local networks in comparison with UTP twisted pair of wire-rope. The study addresses the PLC technology for indoor access. During the study makes a brief introduction to the PLC telling a little of its history, operating principles, main applications and topologies. It is also made a brief introduction about data transmission technology through twisted-pair UTP copper cables, telling a little of its history, operating principles, categories and types of cables. The focus of the research is intended to analyze the feasibility of use of PLC technology in local networks where the passage of twisted-pair copper cables is not possible or feasible due to physical barriers and among others, for examples ducts for passage of cables blended or distance between the parts to be interconnected. For this conclusion was carried out a case study in lab bench analyzing and comparing the two technologies through the HTTP tests, full page HTTP, ping to gateway, RDP and speed. According to the survey the PLC technology is effective, and it is concluded that the use of PLC in local networks is feasible.

Keywords: Power line communication. Broadband Power Line. Internet in the grid. UTP twisted pair cables.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Separação das portadoras na frequência e no tempo.....	21
Figura 2. Topologia PLC IN-HOME	23
Figura 3. Topologia aplicação PLC Acesso última milha.....	23
Figura 4. Topologia PLC acesso WAN.....	24
Figura 5. Transmissão <i>balanced pair</i>	27
Figura 6. Cabo UTP categoria 1.....	28
Figura 7. Cabo UTP categoria 2.....	28
Figura 8. Cabo UTP categoria 3.....	29
Figura 9. Cabo UTP categoria 4.....	30
Figura 10. Cabo UTP categoria 5.....	30
Figura 11. Cabo UTP categoria 5e.....	31
Figura 12. Cabo UTP categoria 6.....	32
Figura 13. Cabo UTP categoria 6a.....	32
Figura 14. Cenário 1.....	35
Figura 15. Cenário 2.....	36
Figura 16. Parâmetro PING para gateway com cabo UTP.....	37
Figura 17. Parâmetro PING para gateway com PLC.....	38
Figura 18. Parâmetro HTTP com cabo UTP.....	38
Figura 19. Parâmetro HTTP com PLC	39
Figura 20. Parâmetro HTTP de página completa com cabo UTP	39
Figura 21. Parâmetro HTTP de página completa com PLC	40
Figura 22. Parâmetro RDP com cabo UTP	41
Figura 23. Parâmetro RDP com PLC	41
Figura 24. Teste de velocidade Speed Test Copel.....	42
Figura 25. Resultado do ensaio parâmetro PING para gateway	43
Figura 26. Resultado do ensaio parâmetro HTTP	44
Figura 27. Resultado do ensaio parâmetro HTTP de página completa.....	45
Figura 28. Resultado do ensaio parâmetro RDP.....	46
Figura 29. Resultado do ensaio parâmetro Velocidade.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resultado parâmetro PING para gateway	43
Tabela 2. Resultado parâmetro HTTP.....	44
Tabela 3. Resultado parâmetro HTTP de página completa	45
Tabela 4. Resultado parâmetro RDP	46
Tabela 5. Resultado parâmetro velocidade	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADSL	<i>Asymmetric Digital Subscriber Line</i>
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
APTEL	Associação de Empresas Proprietárias de Infraestrutura e de Sistemas Privados de Telecomunicações
BPL	<i>Broadband Power Line</i>
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
DPL	<i>Digital Power Line</i>
EIA/TIA	<i>Electronic Industries Alliance/ Telecommunications Industries Association</i>
FDM	<i>Frequency Division Multiplex</i>
Gbps	Giga bits por segundo
GCOI	Grupo de Coordenação e Operação Interligada
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
ICMP	<i>Internet Control Message Protocol</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
kHz	Quilohertz
Km	Quilômetro
LAN	<i>Local Area Network</i>
Mbps	Megabits por segundo
OFDM	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplex</i>
PLC	<i>Power Line Communication</i>
RDP	<i>Remote Desktop Protocol</i>
UTC	<i>United Telecom Council</i>
UTP	<i>Unshielded Twisted Pair</i>
WAN	<i>Wide Area Network</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	POWER LINE COMMUNICATION	18
2.1	SOBRE A TECNOLOGIA	18
2.2	HISTÓRIA	18
2.3	PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO	20
2.4	TOPOLOGIAS E APLICAÇÕES	22
2.4.1	TOPOLOGIA PLC INDOOR	22
2.4.2	TOPOLOGIA PARA ACESSO NA ÚLTIMA MILHA	23
2.4.3	TOPOLOGIA PARA ACESSO WAN	24
3	CABO METÁLICO DE PAR TRANÇADO UTP	25
3.1	SOBRE A TECNOLOGIA	25
3.2	HISTÓRIA	26
3.3	PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO	26
3.4	CATEGORIAS DE CABOS UTP	27
3.4.1	CATEGORIA 1	28
3.4.2	CATEGORIA 2	28
3.4.3	CATEGORIA 3	29
3.4.4	CATEGORIA 4	29
3.4.5	CATEGORIA 5	30
3.4.6	CATEGORIA 5e	31
3.4.7	CATEGORIA 6	31
3.4.8	CATEGORIA 6a	32
4	METODOLOGIA DA PESQUISA	33
4.1	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	34
4.1.1	CENÁRIO 1	35
4.1.2	CENÁRIO 2	36
4.1.3	ENSAIOS REALIZADOS NOS CENÁRIOS 1 e 2	36
4.1.3.1	PING PARA GATEWAY	37
4.1.3.2	HTTP	38
4.1.3.3	HTTP DE PÁGINA COMPLETA	39
4.1.3.4	RDP	40

4.1.3.5	TESTE DE VELOCIDADE	41
5	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS	43
5.1	PING PARA GATEWAY	43
5.2	HTTP	44
5.3	HTTP DE PÁGINA COMPLETA	45
5.4	RDP	46
5.5	TESTE DE VELOCIDADE	47
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	49
	REFERÊNCIAS.....	51
	ANEXOS	54
	ANEXO A – “EXPERIMENTOS DE PLC AO REDOR DO MUNDO”	55
	ANEXO B “BANCADA DE TESTES PLC”	56
	ANEXO C “BANCADA DE TESTES CABO UTP”	57

1 INTRODUÇÃO

O Power Line Communication ou PLC como é conhecido surgiu por volta de 1920 com a ideia de se utilizar a rede elétrica como meio de transmissão de dados. Contudo foi somente em 1988 que as pesquisas com o intuito de se transmitir esses dados há altas taxas de velocidade tomaram destaque, sendo possível realizar as transmissões a partir de 1991. Na época a tecnologia ganhou destaque no cenário mundial e trazia consigo a ideia de resolver os problemas de acesso à internet na última milha.

Os projetos e estudos com a tecnologia PLC no Brasil surgiram em grande escala no ano de 1998. No ano de 2001 foi implementado o projeto piloto CEMIG, este previa o acesso à internet em banda larga através da rede secundária de distribuição elétrica. Em 2003 os resultados do projeto foram publicados, e segundo Santos e Silva (2010) mostraram que quanto maior a carga energética da rede, maior era a degradação do acesso dos usuários, sendo necessário a criação de filtros para controle de possíveis fontes de interferência. No ano de 2002 foi implementado um projeto inovador em Santa Catarina pela Iguaçu Distribuidora de energia. O projeto visava a transmissão de internet e telefonia sobre a rede de energia elétrica, porém os dados referentes aos resultados do projeto nunca foram revelados. No ano de 2003 a COPEL no Paraná também iniciou um projeto levando internet banda larga via rede elétrica a cerca de 50 domicílios na região de Curitiba. Segundo dados da própria empresa, os resultados do projeto que se estendeu até 2010, mostram que é viável a transmissão de internet banda larga via rede elétrica, porém o custo de implantação é 50% mais elevado comparado a tecnologia ADSL. (SANTOS JÚNIOR; SILVA, 2010).

Atualmente o Brasil se destaca em toda América Latina por meio da Universidade Federal de Juiz de Fora, que realiza pesquisas em torno da tecnologia PLC para implantação em cenários residenciais e industriais. A pesquisa tem retornado resultados positivos, uma vez que foi desenvolvido um sistema de transmissão que se adequa as redes de energia elétrica e consegue garantir uma alta taxa de transferência de dados e uma alta qualidade no serviço mesmo com condições adversas (DUQUE, 2015).

A tecnologia PLC ao redor do mundo mantém-se em estudos e projetos que continuam atualmente visando a melhoria e padronização da tecnologia, e verificando as diversas formas de integração com outras tecnologias já existentes. Em 2014 detectou-se um total de mais de 100 iniciativas em PLC cobrindo mais de 40 países e 600 empresas (Anexo 1) (LITTLE, 2014). Dentre alguns projetos que foram e estão sendo realizados ao redor do mundo, verificou-se que:

- As atividades de PLC sobre a infraestrutura elétrica não afetam a rede e o serviço elétrico;
- A tecnologia se mostrou pronta para ser implantada no âmbito comercial;
- Serviços de PLC que foram implantados comercialmente como acesso à Internet em banda larga e voz sobre IP tiveram grande aceitação dos usuários;
- Uma das principais opções para redes de distribuição está sendo o PLC sobre a média tensão;
- Quando comparada a outras tecnologias de acesso, o PLC mostra ser uma tecnologia competitiva;
- Iniciativas comerciais estão partindo das mais diversas prestadoras de serviço de utilidades ao redor do mundo.

Diante desse quadro, apresenta-se como problema de pesquisa a viabilidade da utilização da tecnologia PLC em redes locais em comparativo com cabo metálico de par trançado UTP.

Tem-se como objetivo geral desse trabalho analisar a viabilidade da utilização de PLC em redes locais em comparativo com cabo metálico de par trançado UTP. Como objetivo específico, analisar a viabilidade do uso do PLC para interligação entre dois pontos em uma rede local aonde não é possível a passagem de um cabo metálico de par trançado UTP, sem a perda de qualidade no serviço de internet, transferência de dados. Para tanto é realizada uma análise em bancada de laboratório simulando os possíveis cenários existentes e verificando a viabilidade do uso do PLC na interligação da rede mediante testes de HTTP, HTTP de página completa, ping para gateway da rede, RDP e teste de velocidade.

O presente trabalho se justifica por analisar a viabilidade do uso da tecnologia para ser empregada comercialmente em um provedor de internet, para o

uso em residências aonde por motivos estruturais não é possível a passagem de cabos metálicos UTP, muitas vezes limitando o acesso à internet a alguns pontos da residência.

O trabalho foi desenvolvido em seis capítulos, sendo o primeiro e o último destinado à introdução e às considerações finais, respectivamente. O segundo capítulo aborda a tecnologia PLC, contando um pouco de sua história, princípio de funcionamento, algumas características e aplicações mais comuns. O terceiro capítulo trata o cabeamento metálico de par trançado UTP, contando também um pouco de sua história, princípio de funcionamento, algumas das categorias de cabos encontradas no mercado atualmente. O quarto capítulo engloba a metodologia da pesquisa, caracterizando a mesma e mostrando os métodos que foram utilizados para coleta dos dados. O quinto capítulo expõe a análise dos dados, mostrando de forma clara os resultados obtidos com a pesquisa.

2 POWER LINE COMMUNICATION

Neste capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica sobre a tecnologia PLC, bem como sua definição, história, princípio de funcionamento e principais aplicações.

2.1 SOBRE A TECNOLOGIA

O PLC (do inglês *Power Line Communications*), é a tecnologia que utiliza a rede elétrica como meio físico para transporte de sinais de dados (SANTOS, 2008).

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (2009), o *Power Line Communication* é um sistema que permite a transmissão de sinais de internet, voz, vídeo e comunicação digital e analógica por meio da rede elétrica.

Apesar de ser uma tecnologia um tanto quanto antiga, a mesma vem ganhando destaque em virtude de resolver o problema da chamada “última milha” da internet, ou seja, consegue levar conexão as áreas de difícil acesso, que não conseguem conexões com redes (SANTOS, 2008).

A tecnologia PLC de banda larga também pode ser denominada BPL (*Broadband Power Line*) (TEIXEIRA, 2005).

2.2 HISTÓRIA

Inicialmente, a ideia de se transmitir dados sobre a rede elétrica, o famoso PLC, data de 1920, quando foram criadas as primeiras propostas de transmissão de dados em redes de alta tensão, na época se utilizando uma modulação analógica de 15 a 50 kHz (SANTOS JÚNIOR; SILVA, 2010).

Contudo foi somente em 1930 que se foi possível realizar as primeiras transmissões, mediante a *Ripple Control* (RC), primeira técnica criada para tal. O objetivo da RC era de transmitir sinais de controle de frequências baixas (0,1 a 0,9 kHz, permitindo assim a comunicação a pequenas taxas e alta potência. Essa tecnologia permitia uma comunicação de modo unidirecional, sendo usada para a realização de pequenas tarefas como a ativação da iluminação pública, sistemas de telemetria, controle remoto e comunicação de voz até meados dos anos 80. (SANTOS, 2008)

Na década de 80 na Europa, algumas empresas passaram a realizar pesquisas para analisar as características da rede elétrica, e a mensurar a capacidade de utilização das mesmas como meios de comunicação. Com os testes, se descobriu que as faixas de 5 a 500 kHz eram as que possuíam o melhor potencial para utilização em relação ao sinal/ruído e a atenuação do sinal. (SANTOS, 2008)

Em 1988 o primeiro protótipo de modem é criado, e se utilizando da técnica de modulação *Spread Spectrum* ou espalhamento espectral se conseguiu transmitir dados a taxas de 60 bps a uma distância de até 1 km. Contudo a comunicação de forma direcional é possível entre o sistema PLC somente na década de 90. (TIBALDI, 2007).

Em 1991 foram iniciados os testes de comunicação de alta velocidade na Inglaterra. Em 1997 as duas grandes fornecedoras de energia elétrica da Inglaterra a *Norweb* e a *Nortel* anunciaram que os problemas causados por ruídos ou interferências haviam sido solucionados e que estavam sendo realizados testes de acesso à internet com a utilização da tecnologia desenvolvida. (GUNGOR apud SOARES, 2010)

Deste modo em 1998 surgiu a *Digital Power line*, que era uma forma de negócio inovadora na área das telecomunicações, e devido ao sucesso da iniciativa em 1998 a *Notel* e a *United Utilities* constituíram uma parceria para comercializar a tecnologia e assumir os novos desenvolvimentos em PLC, é criada então a *Nor.Web DPL*. (SANTOS JÚNIOR; SILVA, 2010)

Em junho de 1998, a UTC (*United Telecom Council*), que congrega as concessionárias de energia elétrica preparou o primeiro fórum PLC com 3 comitês: técnico, regulatório e comercial. Posteriormente outros dois fóruns foram realizados (SANTOS, 2008).

Em abril de 1999 foi criada a APTEL, que juntamente com o Subcomitê de Comunicações do GCOI realizava o acompanhamento do progresso e desenvolvimento da tecnologia Power Line Communication. Em setembro de 1999 é criado no Brasil o primeiro seminário sobre a tecnologia em questão, com o tema: Tecnologia *Power Line Communications* (PLC). Já na Europa em 1997 foi criado o PLC Fórum, e nos USA a UTC criou o *Power Line Telecommunications Fórum* (PLTF) (SANTOS JÚNIOR; SILVA, 2010).

Em 2000 algumas empresas do Brasil iniciam testes com a tecnologia PLC, alguns têm continuidade até hoje, como é o exemplo da COPEL no Paraná (TORRES, 2014).

2.3 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

O princípio de funcionamento da tecnologia PLC, consiste em sobrepor um sinal de alta frequência (MHz), sobre os 60 Hz dispostos na rede elétrica (ROSA, 2012).

Segundo Malathi (2007), este sinal é transmitido sobre os fios das redes de baixa e média tensão. Diversos fatores tornam difícil a transmissão desse sinal sobre as linhas de corrente alternada, dentre eles segundo Rosa (2012) podemos destacar:

- Existência de ruídos e interferências que não podem ser previstos, sejam estes por abertura e fechamento dos circuitos, acoplamento de equipamento a tomadas, etc.
- Propagação das frequências em linhas abertas, sem nenhuma forma de proteção há interferências geradas por outros sistemas que atuam nas mesmas frequências de transmissão.
- As diferentes características topologias utilizadas nas redes de distribuição de energia elétrica (características não lineares, linhas abertas, existência de derivações ao longo da linha, transformadores, etc.)

Para reduzir essas restrições e permitir o correto funcionamento da tecnologia se faz o emprego de alguns tipos de modulação e multiplexação. Em geral, nos sistemas PLC são utilizadas como formas de multiplicação a *Frequency Division Multiplex* (FDM) e como modulação a *Orthogonal Frequency Division Multiplex* (OFDM) (SANTOS, 2008).

Segundo Pinto e Albuquerque (2002, p.1):

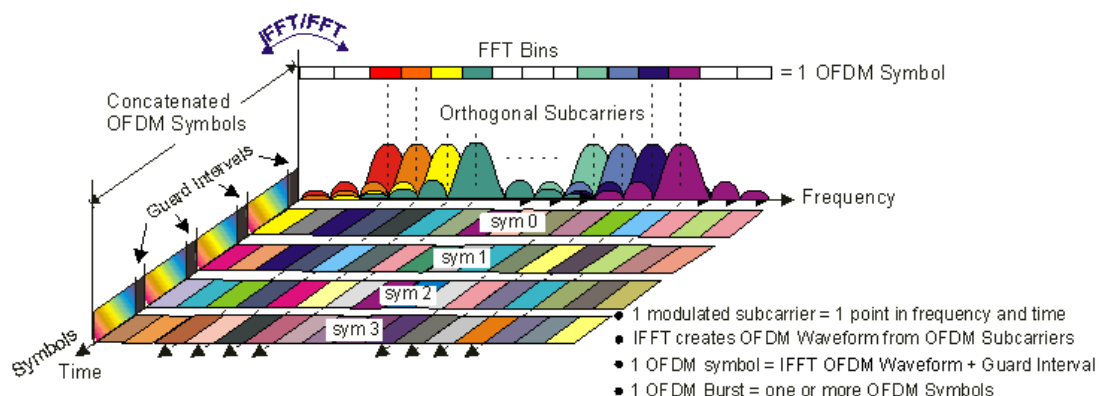
A técnica OFDM consiste na transmissão paralela de dados em diversas subportadoras, com modulação QAM ou PSK e taxas de transmissão por subportadora tão baixas quanto mais o número destas empregadas.

Visando minimizar os efeitos da seleção de frequências gerados por descasamento de impedância ao longa da linha, atenuação e ruído existente na rede elétrica, o tempo é dividido de modo que determinado símbolo transmitido em cada subsequência seja maior que o espalhamento multipercurso do canal PLC. Isso aumenta a robustez do sistema da multiportadora perante interferência entre símbolos OFDM (CAVALCANTE, 2010), (HARAD; PRASAD, 2003).

Conforme DIAS (2006, p. 21):

A técnica de transmissão OFDM (do inglês *Orthogonal Frequency Division Multiplex*) é uma forma especial de modulação multiportadora que consiste na transmissão paralela dos dados modulando-se diversas portadoras densamente espaçadas cujas frequências são escolhidas de modo a manter a ortogonalidade mútua.

Figura 1. Separação das portadoras na frequência e no tempo



Fonte: BAPTISTA, 2008.

2.4 TOPOLOGIAS E APLICAÇÕES

Segundo Rosa (2012) o emprego das redes PLC com diferentes topologias, depende da aplicação e para isso deverá ser avaliada levando em conta uma série de aspectos como as necessidades e características do local escolhido, a aplicação, além disso deve estar em concordância com os aspectos regulatórios vigentes.

De acordo com Vidal (2005) podemos classificar as tecnologias de aplicação de sistemas PLC em três grandes grupos:

1. Topologia PLC Indoor;
2. Topologia para acesso na última milha;
3. Topologia para acesso WAN;

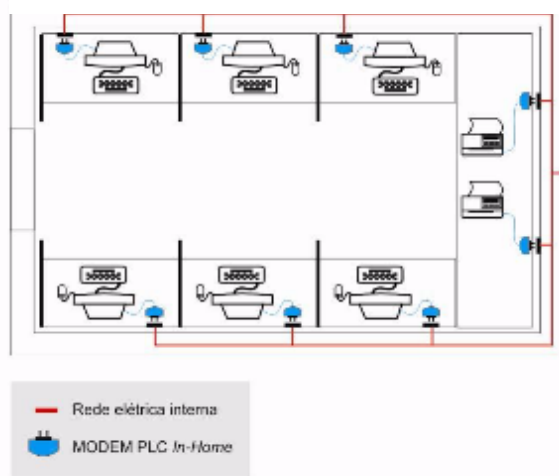
2.4.1 TOPOLOGIA PLC INDOOR

Este modelo é constituído pela rede de distribuição elétrica de baixa tensão, e pelos modems que serão utilizados para conexão dos equipamentos que serão interligados na rede. (ROSA, 2012)

De forma sucinta esse modelo vai desde o medidor de energia da residência do usuário até as tomadas no interior da residência. Inúmeros modems podem estar conectados as diversas tomadas de energia disponíveis em uma instalação de usuário, tornando assim uma rede de amplo espectro. (CORRÊA, 2004)

A figura 2 ilustra um exemplo de aplicação da tecnologia Indoor para compor uma pequena rede LAN, interligando alguns computadores e periféricos em um escritório.

Figura 2. Topologia PLC IN-HOME



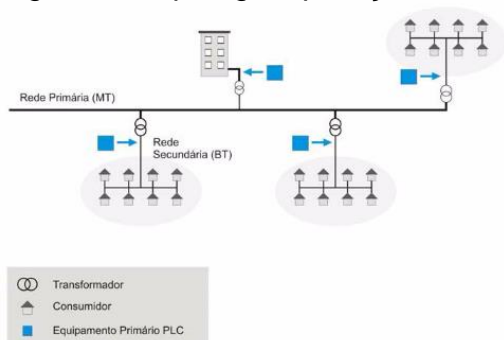
Fonte: ROSA, 2012.

2.4.2 TOPOLOGIA PARA ACESSO NA ÚLTIMA MILHA

Nesta aplicação a rede PLC deixar de operar apenas na rede elétrica interna de um local específico, e se expande para além dessa rede, gerando diversas sub redes de menor porte. Nesse tipo de topologia o sinal PLC é acoplado as redes de baixa tensão após o transformador de distribuição, de modo que todos os usuários que estejam ligados a rede desse transformador passam a ter acesso pelo meio de MODEN's. (VIDAL, 2005)

A figura 3 ilustra a aplicação da tecnologia PLC segundo conceito de última milha. (VIDAL, 2005)

Figura 3. Topologia aplicação PLC Acesso última milha



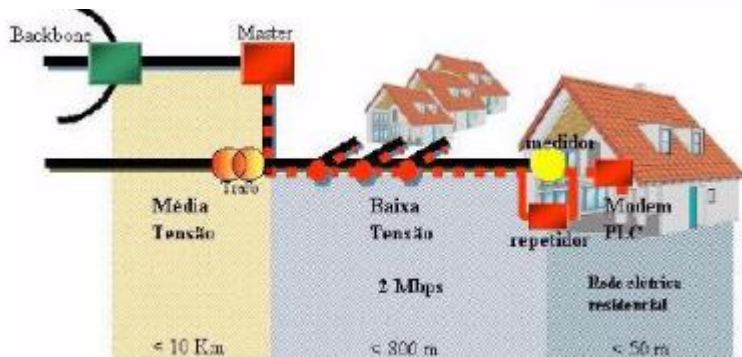
Fonte: VIDAL, 2005.

2.4.3 TOPOLOGIA PARA ACESSO WAN

A tecnologia aplicada as redes WAN é utilizada quando se necessita acesso rápido a um meio, podendo este ser a internet, ou outro qualquer, aonde mediante sinal proveniente de uma portadora de serviços, seja este através de fibra óptica, cable modem, ou ainda uma solução de PLC de média tensão, é recebido em um equipamento PLC servidor, e este faz a distribuição do sinal utilizando a rede de baixa tensão a todos os usuários que estejam conectados ao transformador, o cliente recebe o sinal na tomada e com o auxílio do modem PLC faz a filtragem dos sinais de frequência. (CAVALCANTE; MENESES, 2008)

Conforme aumenta a distância entre cada cliente e o transformador, se faz necessário o uso de um repetidor, conforme pode ser visto na figura 4.

Figura 4. Topologia PLC acesso WAN



Fonte: CAVALCANTE, MENESES, 2008.

3 CABO METÁLICO DE PAR TRANÇADO UTP

Nesse capítulo será abordada a revisão bibliográfica para a tecnologia de transmissão de dados via cabo metálico de par trançado UTP, também contando um pouco de sua história, princípios de funcionamento, aplicações, categorias e tipos de cabos existentes.

3.1 SOBRE A TECNOLOGIA

O cabo metálico de par trançado (*Twisted pair*) é um tipo de cabo que possui um par de fios entrelaçados entre si, visando anular as interferências eletromagnéticas de fontes externas e interferências mútuas (linha cruzada ou, em inglês, crosstalk) entre cabos vizinhos. (MORIMOTO, 2013)

Para Torres (2014), o nome par trançado é muito conveniente, pois estes cabos são constituídos justamente por 4 pares de cabos entrelaçados. Os cabos coaxiais usam uma malha de metal que protege o cabo de dados contra interferências externas, já os cabos de par trançado como já citados, usam um tipo de proteção mais simples: o entrelaçamento dos cabos cria um campo eletromagnético que oferece uma razoável proteção contra interferências externas.

Unshielded Twisted Pair – UTP ou Par Trançado sem Blindagem é constituído de quatro pares de fios entrelaçados que são revestidos por uma capa de PVC. Atualmente é o mais utilizado tanto em redes domésticas quanto em grandes redes industriais devido ao fácil manuseio e instalação. Permite taxas de transmissão de até 10 Gbps com a utilização do cabo CAT 6 e CAT6e e suporta uma distância de até 100 metros. (MORIMOTO, 2013)

Em redes Ethernet os cabos de par trançado sem blindagem são chamados de 10Base-T, 100Base-T, 1000Base-T ou 10GBase-T. O termo “Base” indica a “banda base” suportada pelo cabo e o termo “T” indica “par trançado” (do inglês “*Twisted pair*”). (TORRES, 2014).

3.2 HISTÓRIA

Nos anos 90 era muito comum se encontrar redes de computadores utilizando cabos coaxiais de 50 Ohms. Isso se dava devido a facilidade de instalação e conexão dos cabos coaxiais, uma vez que os mesmos utilizavam conectores parecidos com os de TV e poderiam ser instalados em qualquer local sem sofrerem nenhum tipo de interferência. (LIBÓRIO, 2007)

Os cabos coaxiais utilizados na época eram muito limitados, tanto na questão velocidade, atingindo a taxa máxima de transferência de apenas 10 Mbps, quanto no quesito distância, podendo ser de até 15 metros. (TORRES, 2014)

Com o aumento massivo das redes de computadores e a necessidade de uma alta taxa de transferência de dados a *Bell Laboratories* em resposta as limitações dos cabos coaxiais criou o cabo UTP de quatro pares, que suportava uma taxa de transferência de dados de até 20 Mbps. (MORIMOTO, 2013)

Os cabos metálicos de par trançado UTP foram evoluindo com o passar dos tempos e atualmente permitem taxas de transferência de dados de até 10 Gbps e suportam distâncias de até 100 metros. (TORRES, 2014).

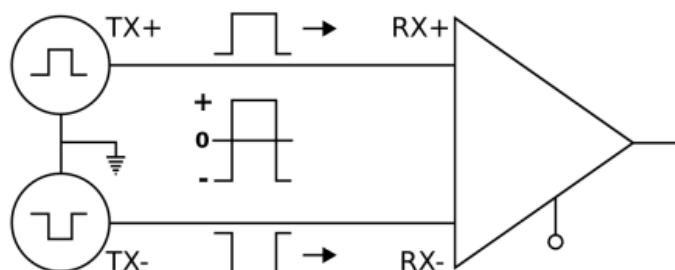
3.3 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO

Um par de fios torcidos cria uma espiral virtual com capacitância e indutância, suficientes para ir anulando o ruído externo através das múltiplas espirais, ou seja, o campo magnético formado pela espiral X, é o inverso da espiral Y, e assim por diante. Se num dado momento o cabo sofrer uma interferência, esta será anulada quando ocorrer a inversão dos polos das espirais. (LIBÓRIO, 2007)

Para potencializar o efeito da blindagem eletromagnética, as placas de rede utilizam o sistema de transmissão denominado de "*balanced pair*", onde, dentro de cada par trançado, os dois fios enviam o mesmo sinal, porém com a polaridade invertida. Para um bit "1", o primeiro fio envia um sinal elétrico positivo, enquanto o outro envia um sinal elétrico negativo. Ou seja, o segundo fio é usado para enviar

uma cópia invertida da transmissão enviada através do primeiro. (MORIMOTO, 2013).

Figura 5. Transmissão *balanced pair*.



Fonte: MORIMOTO, 2013.

3.4 CATEGORIAS DE CABOS UTP

Segundo Torres (2014) os cabos metálicos de par trançado UTP foram categorizados pela norma EIA/TIA-568-B e foram divididos em seis categorias, levando em consideração o nível de segurança e a bitola dos fios.

De acordo com Morimoto (2013) os cabos metálicos de par trançado possuem mais duas categorias não reconhecidas pelo EIA/TIA, que inclui os cabos de categoria um e dois que foram nomes dados pela empresa Anixter e com cabos categoria sete, que é um nome informal para cabos ISO classe F.

Segundo Torres (2014) as categorias de cabos UTP existentes atualmente são:

1. Categoria 1 (Anixter nível 1);
2. Categoria 2 (Anixter nível 2);
3. Categoria 3 (ISO classe C);
4. Categoria 4;
5. Categoria 5;
6. Categoria 5e (ISO classe D);
7. Categoria 6 (ISO classe E);
8. Categoria 6a (ISO classe EA);

3.4.1 CATEGORIA 1

Cabo de par trançado usado em cabos telefônicos. Só pode ser utilizado em transmissões de até 1 Mhz (1 Mbps). (TORRES, 2014).

Figura 6. Cabo UTP categoria 1.



Fonte: MORIMOTO, 2013.

3.4.2 CATEGORIA 2

Usado antigamente em redes Token Ring de até 4 Mbps. Atualmente não é mais utilizado. (MORIMOTO, 2013).

Figura 7. Cabo UTP categoria 2



Fonte: MORIMOTO, 2013.

3.4.3 CATEGORIA 3

Permite transmissões de até 16 Mbps. Foi o cabo utilizado como padrão em redes Ethernet 10Base-T antes dos cabos de categoria cinco se tornarem o padrão. Existiu ainda um padrão de 100 Mbps para cabos de categoria 3, o 100BASE-T4, mas ele é pouco usado e não é suportado por todas as placas de rede. (TORRES, 2014)

A principal diferença do cabo de categoria 3 para os obsoletos cabos de categoria 1 e 2 é o entrançamento dos pares de cabos. Os cabos de categoria 3 possuem pelo menos 24 tranças por metro, já nos cabos categoria 1 e 2 não existe um padrão definido e, por isso, são muito mais susceptíveis resistentes a ruídos externos. (MORIMOTO, 2013)

Figura 8. Cabo UTP categoria 3



Fonte: MORIMOTO, 2013.

3.4.4 CATEGORIA 4

Esta categoria de cabos tem uma qualidade um pouco superior e é certificada para sinalização de até 20 MHz. Foram usados em redes Token Ring de 16 Mbps e também podiam ser utilizados em redes Ethernet em substituição aos cabos de categoria 3, mas na prática isso não é comum. Assim como as categorias 1 e 2, a categoria 4 não é mais reconhecida pela TIA e os cabos não são mais fabricados, ao contrário dos cabos de categoria 3, que continuam sendo usados em instalações telefônicas. (MORIMOTO, 2013)

Figura 9. Cabo UTP categoria 4



Fonte: MORIMOTO, 2013

3.4.5 CATEGORIA 5

Os cabos de categoria 5 são o requisito mínimo para redes 100BASE-TX e 1000BASE-T, que são, respectivamente, os padrões de rede de 100 e 1000 Mbps usados atualmente. Suportam frequências de até 100 MHz, o que representa um grande salto em relação aos cabos cat. 3. São conhecidos como os cabos cat. 5, seguem padrões de fabricação muito mais estritos, o que acarreta em cabos com uma qualidade superior. (MORIMOTO, 2013)

É muito raro encontrar cabos cat. 5 à venda atualmente, pois eles foram substituídos pelos cabos categoria 5e. (TORRES, 2014)

Figura 10. Cabo UTP categoria 5



Fonte: MORIMOTO, 2013.

3.4.6 CATEGORIA 5e

É uma versão aperfeiçoada do padrão categoria 5, com normas mais estritas, desenvolvidas de forma a reduzir a interferência entre os cabos e a perda de sinal, o que ajuda em cabos mais longos, perto dos 100 metros permitidos. (TORRES, 2014).

Segundo TORRES (p.508, 2014) os cabos cat. 5e devem suportar os mesmos 100 MHz dos cabos cat. 5, mas este valor é uma especificação mínima e não um número exato. É comum encontrar no mercado cabos certificados para 110 MHz, 125 MHz ou mesmo 155 MHz, embora na prática isso não faça muita diferença, já que os 100 MHz são suficientes para as redes 100BASE-TX e 1000BASE-T.

Figura 11. Cabo UTP categoria 5e



Fonte: MORIMOTO, 2013.

3.4.7 CATEGORIA 6

Essa categoria foi desenvolvida para ser usada no padrão Gigabit Ethernet, mas com o desenvolvimento do padrão para cabos categoria 5 sua adoção acabou sendo retardada, já que, embora os cabos categoria 6 ofereçam uma qualidade superior, podendo transmitir até 250 Mbps, o alcance continua sendo de apenas 100 metros (MORIMOTO, 2013)

Figura 12. Cabo UTP categoria 6



Fonte: MORIMOTO, 2013.

3.4.8 CATEGORIA 6a

Permite transmissões de até 500 Mhz, sendo utilizado em redes 10G Ethernet, porém para que haja a transferência de dados em 500 Mhz se fez necessário o uso de técnicas para reduzir a perda de sinal e as interferências externas. (MORIMOTO, 2013)

Uma das medidas para reduzir o crosstalk no cat. 6a foi distanciá-los usando um separador. Isso aumentou a espessura dos cabos de 5.6 mm para 7.9 mm e tornou-os um pouco menos flexíveis (TORRES, 2014)

Figura 13. Cabo UTP categoria 6a



Fonte: MORIMOTO, 2013.

4 METODOLOGIA DA PESQUISA

Para alcançar o objetivo de analisar a viabilidade da utilização da tecnologia PLC em redes locais em comparativo com cabo metálico de par trançado, ficaram estipulados os seguintes procedimentos metodológicos.

A pesquisa foi caracterizada como explicativa, pois preocupa-se em identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos. Segundo Gil (2010) este tipo de pesquisa explica o porquê das coisas através dos resultados oferecidos.

Do ponto de vista da forma de abordagem do problema, a pesquisa é quantitativa. De acordo com Diehl (2004), a pesquisa quantitativa utiliza-se do uso da quantificação, tanto na coleta quanto no tratamento das informações, utilizando-se técnicas estatísticas, objetivando resultados que evitem possíveis distorções de análise e interpretação, possibilitando uma maior margem de segurança.

Em relação aos objetivos, esta pesquisa é classificada como exploratória. De acordo com Tachizawa (2006), a realização do estudo exploratório permite reunir elementos capazes de subsidiar o tema escolhido.

A pesquisa exploratória faz parte do processo dentro de um estudo científico, que tem como finalidade, segundo Andrade (2005), “facilitar a delimitação de um tema de trabalho; definir objetivos ou formular as hipóteses de uma pesquisa ou descobrir um tipo de enfoque para o trabalho”.

Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, a pesquisa é experimental laboratorial pois busca analisar e identificar através de experimentos feitos em bancada de laboratório como determinados fenômenos ocorrem.

Segundo Fonseca (2002, p. 38):

A pesquisa experimental seleciona grupos de assuntos coincidentes, submete-os a tratamentos diferentes, verificando as variáveis estranhas e checando se as diferenças observadas nas respostas são estatisticamente significantes. [...]. Os efeitos observados são relacionados com as variações nos estímulos, pois o propósito da pesquisa experimental é apreender as relações de causa e efeito ao eliminar explicações conflitantes das descobertas realizadas.

Para Gil (2010), a pesquisa experimental consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto.

4.1 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Visando avaliar e chegar a resultados demonstrando a viabilidade da utilização da tecnologia PLC em redes locais em comparativo com cabo metálico de par trançado fez-se o uso de testes em bancada de laboratório utilizando dois cenários distintos, o primeiro sendo uma rede local que funciona mediante tecnologia PLC e o segundo uma rede local cabeada.

Optou-se por utilizar dois cenários que simulassem as adversidades mais comuns do dia a dia, para verificar se na prática seria realmente viável a utilização da tecnologia PLC em redes locais para uma interligação entre dois pontos dentro de uma mesma residência, aonde um cabo metálico de par trançado não poderia ser utilizado, como por exemplo em uma residência aonde não é possível a passagem de um cabo metálico de par trançado pois os dutos de passagem estão obstruídos ou cheios.

Cada cenário passou por 5 testes, sendo eles de HTTP, HTTP de página completa, ping para gateway da rede e RDP. O último teste realizado em cada cenário foi um teste para aferir a velocidade do link de internet, com o intuito de verificar se poderia ocorrer variações bruscas em cada cenário. Para aferir a velocidade foi utilizado o velocímetro do site www.speedtest.copel.net, site conceituado nacionalmente para realização de testes de velocidade.

Todos os testes realizados em ambos os cenários, com exceção do teste de velocidade, tiveram a duração de vinte minutos e foram realizados no mesmo horário, sendo coletados os dados durante três dias consecutivos, sendo cada teste repetido por três vezes, a fim de se analisar a variação dos resultados mensurados. O teste de velocidade foi realizado por cinco vezes durante o período dos testes mencionados anteriormente, fazendo-se uma média da velocidade aferida ao final.

Para o controle e monitoramento dos testes foi utilizado o software PRTG Monitor.

Os equipamentos PLC utilizados foram adaptadores indoor da marca Solimax 85, que segundo fabricante suportam uma banda de até 85 Mbps e distância de até 300 metros.

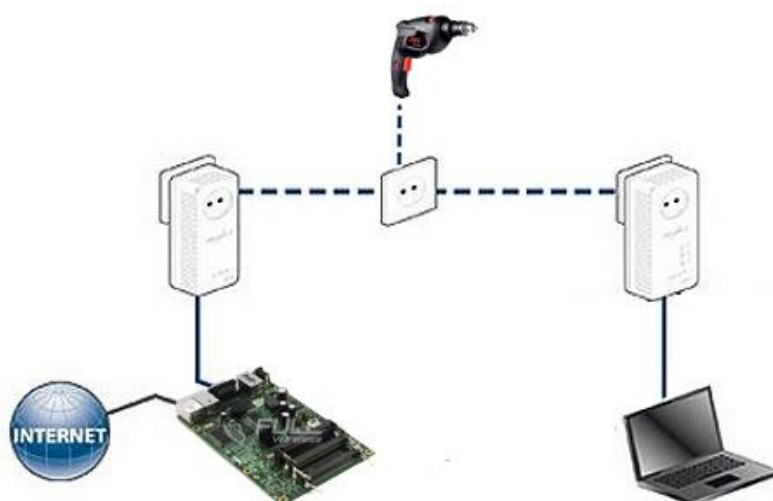
4.1.1 CENÁRIO 1

Nesse cenário foi montado em bancada de laboratório uma rede LAN sendo realizada sua interligação por PLC, simulando uma residência aonde não é possível a passagem de um cabo metálico de par trançado de um cômodo para outro.

Foram utilizados para composição do cenário uma routerboard 433 AH que recebe um link de 3 Mbps de internet e é repassado para o outro cômodo via rede elétrica, através de dois adaptadores PLC Solimax, operando sobre uma rede elétrica com cinco metros de comprimento e tensão de 220 volts, sendo que no momento dos testes estava ligada a mesma rede de energia elétrica uma furadeira de 500 Watts, provocando assim um possível meio de interferência e aplicando uma carga de uso na rede elétrica. Também foi utilizado na composição do cenário um notebook Sony Vaio, core I5, com 4 GB de memória, para comunicação com a rede interna e monitoramento dos dados, uma vez que o software PRTG foi instalado no mesmo.

A figura abaixo demonstra o diagrama de montagem da rede.

Figura 14. Cenário 1



Fonte: O autor.

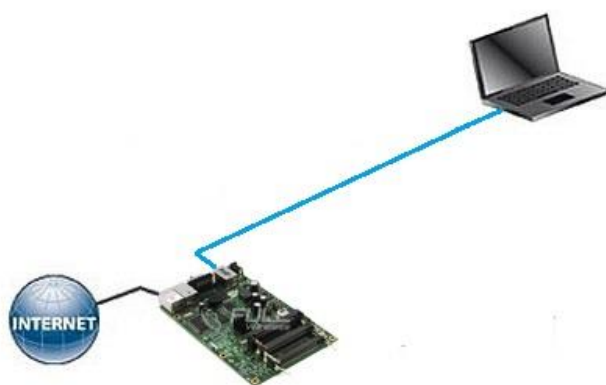
4.1.2 CENÁRIO 2

Nesse cenário também foi montado em bancada de laboratório uma rede LAN, porém a interligação dos cômodos da residência é feita através de um meio muito utilizado atualmente, um cabo metálico de par trançado.

Foram utilizados para composição do cenário uma routerboard 433 AH que recebe um link de 3 Mbps de internet e um cabo metálico de par trançado UTP categoria 5e da marca Nexans com cinco metros de comprimento para interligação dos cômodos. Também foi utilizado na composição do cenário o mesmo notebook Sony Vaio, core I5, com 4 GB de memória, também para comunicação com a rede interna e monitoramento dos dados, uma vez que o software PRTG foi instalado no mesmo.

A figura abaixo apresenta o diagrama de montagem da rede.

Figura 15. Cenário 2.



Fonte: O autor.

4.1.3 ENSAIOS REALIZADOS NOS CENÁRIOS 1 e 2

Nessa seção serão apresentados a descrição dos testes realizados no cenário 1 e 2 referentes a observação dos seguintes parâmetros:

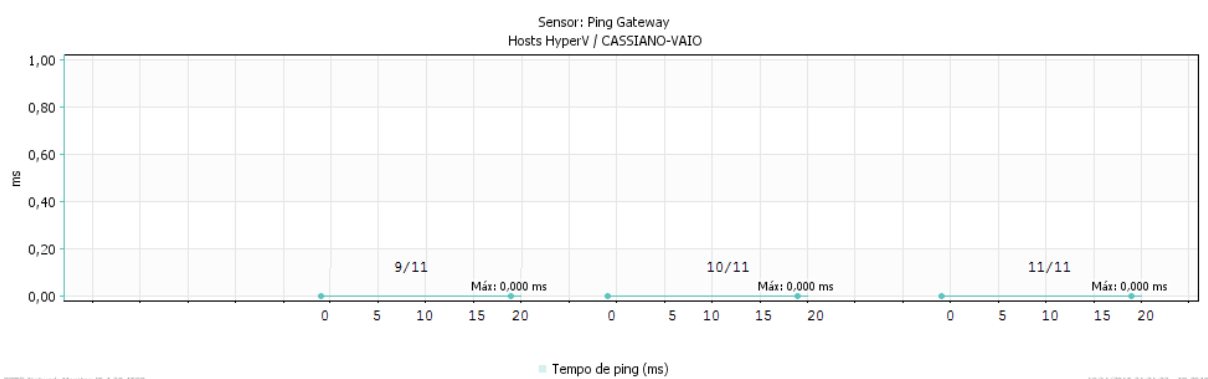
- Ping para gateway;
- HTTP;
- HTTP de página web completa;
- RDP;
- Teste de velocidade;

4.1.3.1 PING PARA GATEWAY

Ping é um utilitário que usa o protocolo ICMP para monitorar a conectividade entre equipamentos. Seu funcionamento consiste no envio de pacotes para o equipamento de destino e na “escuta” de respostas, sendo que essas respostas são obtidas em milissegundos. Quanto menor for o resultado obtido para esse parâmetro, subentende-se que melhor é a rede. (SILVA, 2002)

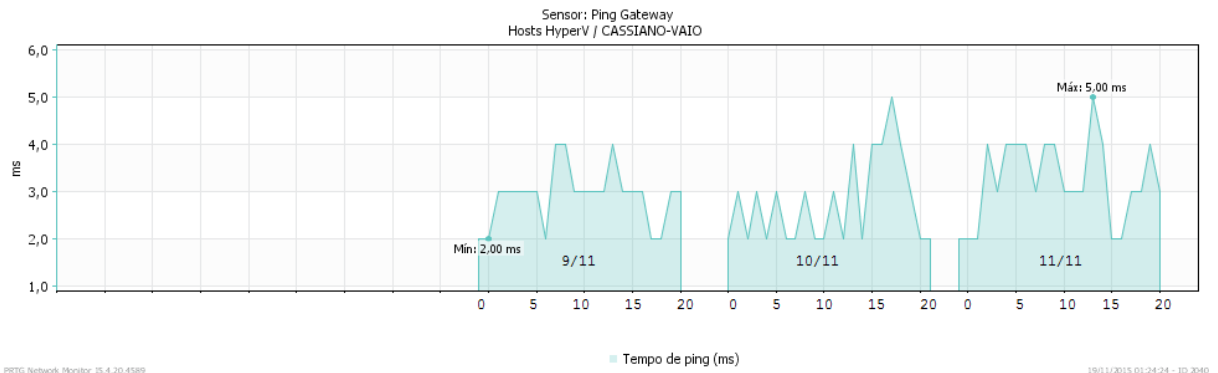
Conforme pode ser observado na figura 14 e 15, obteve-se por meio de software os gráficos do período estabelecido, indicando o comportamento do parâmetro nos dois cenários. O gráfico abaixo traz a variável em questão, nesse caso o PING para gateway, no domínio do tempo (20 minutos) no eixo horizontal, e tempo de resposta no eixo vertical.

Figura 16. Parâmetro PING para gateway com cabo UTP



Fonte: O autor.

Figura 17. Parâmetro PING para gateway com PLC



Fonte: O autor

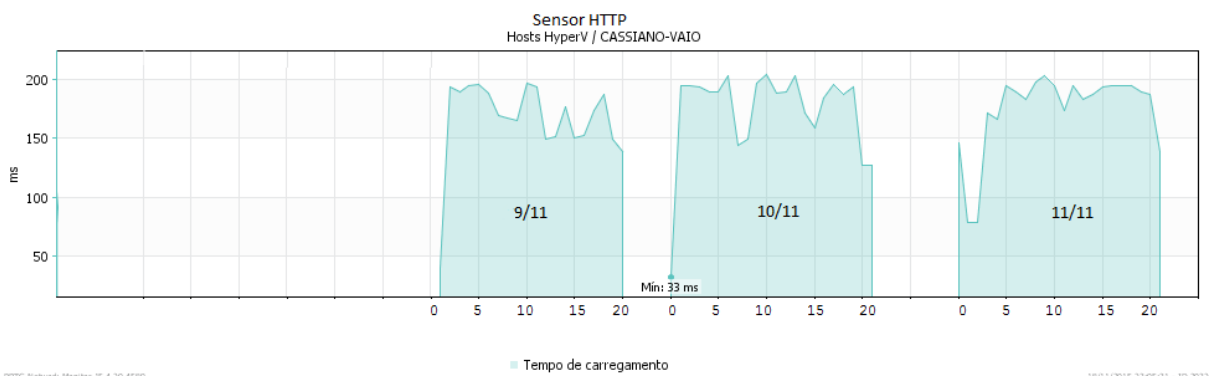
Os dados foram obtidos via monitoramento com software nos dias 09, 10 e 11, no horário das 20:00 as 20:20, compreendendo um período de 20 minutos.

4.1.3.2 HTTP

Monitora um servidor WEB utilizando o Protocolo de Transferência de Hipertexto – HTTP. O protocolo HTTP utiliza o modelo cliente – servidor, como a maioria dos protocolos de rede, baseando-se no formato de requisição e resposta, sendo que nesse parâmetro a resposta também é obtida em milissegundos. (TANEMBAUM, 2003)

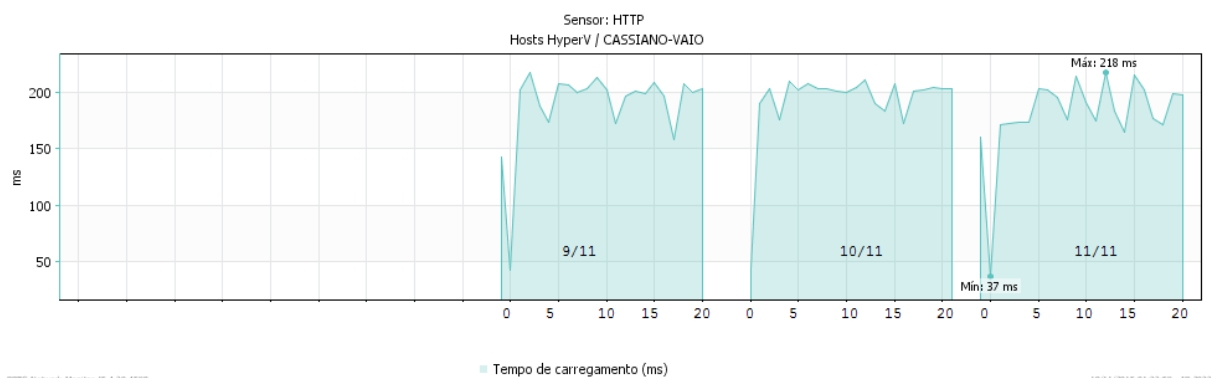
O gráfico abaixo traz a variável em questão, nesse caso o HTTP, no domínio do tempo (20 minutos) no eixo horizontal, e tempo de resposta no eixo vertical.

Figura 18. Parâmetro HTTP com cabo UTP



Fonte: O autor.

Figura 19. Parâmetro HTTP com PLC



Fonte: O autor.

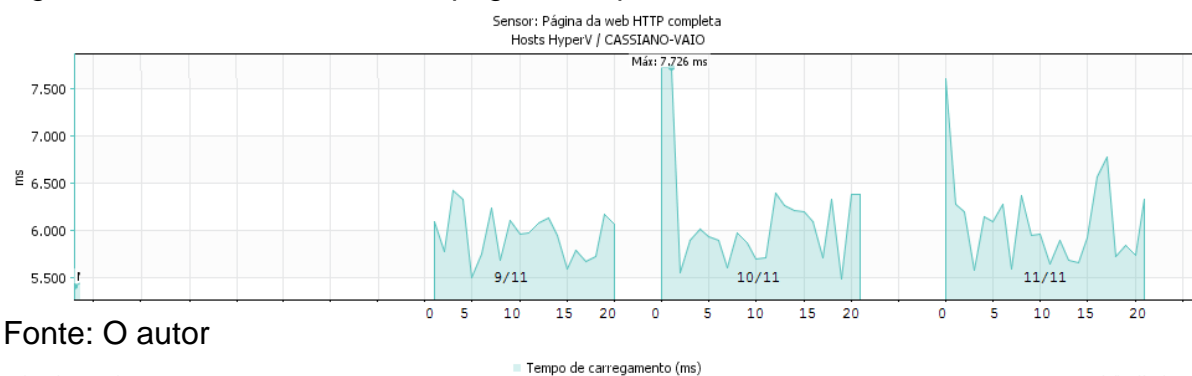
Os dados foram obtidos via monitoramento com software nos dias 09, 10 e 11, no horário das 20:00 as 20:20, compreendendo um período de 20 minutos.

4.1.3.3 HTTP DE PÁGINA COMPLETA

Este parâmetro funciona do mesmo modo que o anterior, porém a contagem do tempo é dada em função do tempo de carregamento completo de uma página web, incluindo imagens, vídeos, etc. O tempo de resposta do parâmetro também é em milissegundos.

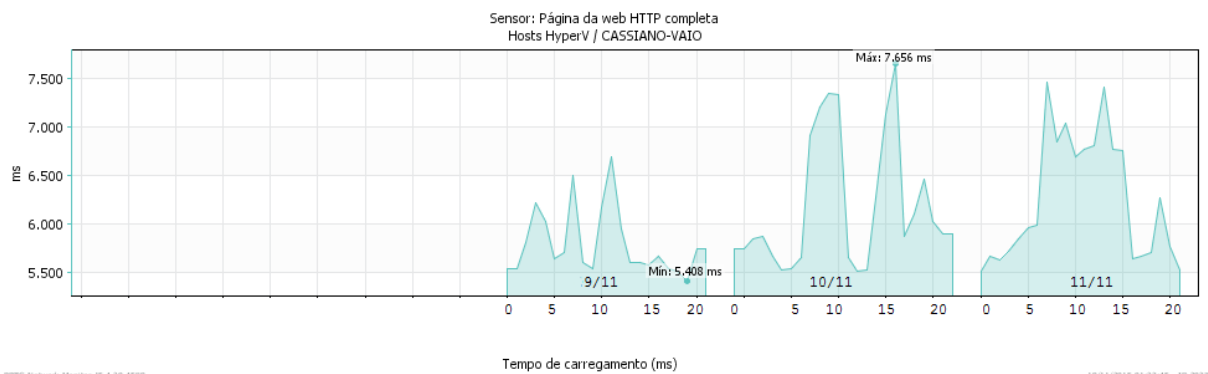
O gráfico abaixo traz a variável em questão, nesse caso o HTTP de página completa, no domínio do tempo (20 minutos) no eixo horizontal, e tempo de resposta no eixo vertical. A página escolhida como parâmetro para download foi o site da UFSC (www.ufsc.br).

Figura 20. Parâmetro HTTP de página completa com cabo UTP



Fonte: O autor

Figura 21. Parâmetro HTTP de página completa com PLC



Fonte: O autor.

Os dados foram obtidos via monitoramento com software nos dias 09, 10 e 11, no horário das 20:00 as 20:20, compreendendo um período de 20 minutos.

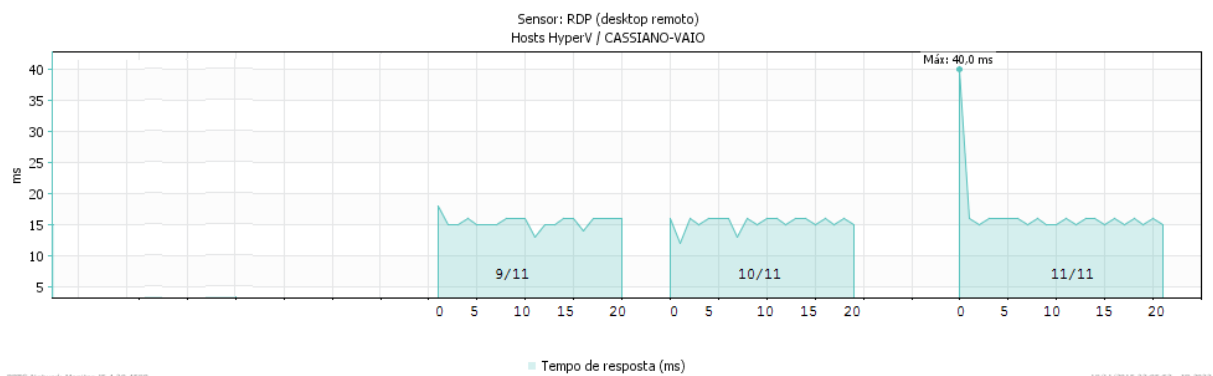
4.1.3.4 RDP

Remote Desktop Protocol é um protocolo multicanal utilizado para que um usuário se conecte a um computador rodando o Microsoft Terminal Services. Um protocolo com capacidade multicanal proporciona canais virtuais separados para o transporte de dados de apresentação, comunicação de dispositivos em série (MORIMOTO, 2013).

O tempo de resposta do parâmetro é em milissegundos, sendo que quanto menor o tempo de resposta, melhor a velocidade e confiabilidade do protocolo RDP.

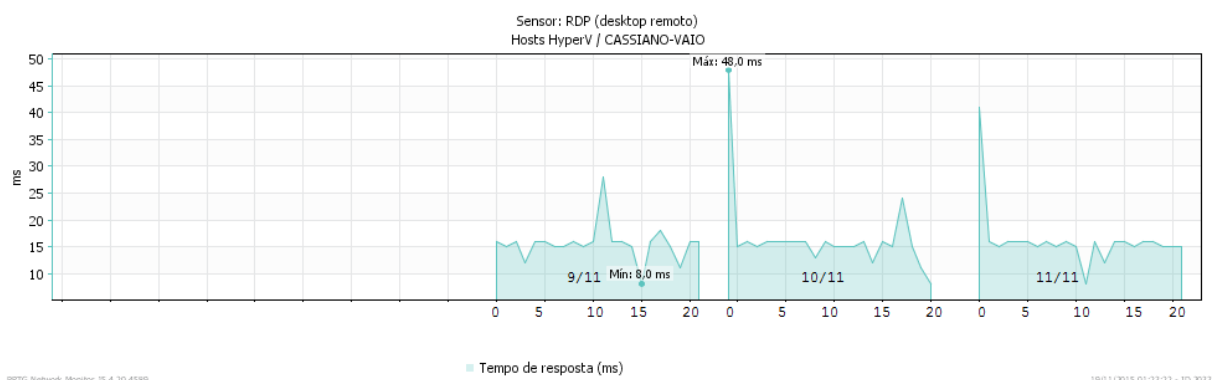
O gráfico abaixo traz a variável em questão, nesse caso o RDP, no domínio do tempo (20 minutos) no eixo horizontal, e tempo de resposta no eixo vertical.

Figura 22. Parâmetro RDP com cabo UTP



Fonte: O autor

Figura 23. Parâmetro RDP com PLC



Fonte: O autor

Os dados foram obtidos via monitoramento com software nos dias 09, 10 e 11, no horário das 20:00 as 20:20, compreendendo um período de 20 minutos.

4.1.3.5 TESTE DE VELOCIDADE

A velocidade da banda disponível no momento dos testes foi aferida através do medidor web Speed Test Copel. Nesse teste foi aferida a velocidade em três momentos ao decorrer dos testes anteriores, sendo que havia disponível uma largura de banda de 3Mbps para download e 0,5Mbps para upload, porém nos testes somente o download foi utilizado como parâmetro considerado a ser mensurado.

Abaixo segue imagem no momento em que a velocidade estava sendo aferida pelo velocímetro do Speed Test Copel.

Figura 24. Teste de velocidade Speed Test Copel



Fonte: O autor.

Os dados foram obtidos através do aferimento da velocidade nos seguintes horários: 20:00, 20:05, 20:10, 20:15, 20:20, compreendendo um intervalo de 5 minutos entre cada aferição, acompanhando assim os outros testes que estavam sendo monitorados via software.

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS

Este capítulo tem como objetivo analisar os dados obtidos com os experimentos realizados em bancada de laboratório no cenário 1 e 2, visando analisar a viabilidade da tecnologia PLC em redes locais. Abaixo apresentam-se os resultados da tecnologia PLC para o cenário 1. Serão dispostos os resultados para cada parâmetro, em função dos cinco testes realizados, traçando um comparativo entre as tecnologias utilizadas.

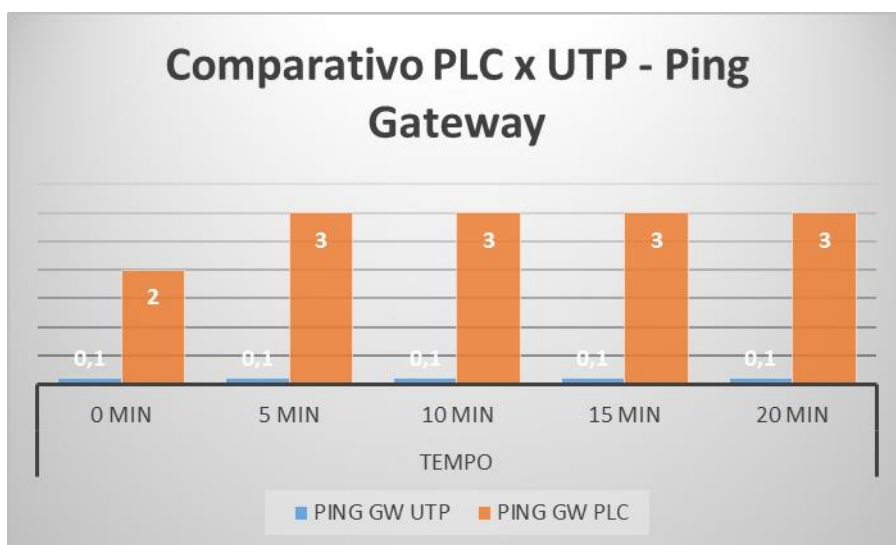
5.1 PING PARA GATEWAY

Tabela 1. Resultado parâmetro PING para gateway

PLC x UTP						
PARÂMETRO (ms)		TEMPO				
		0 min	5 min	10 min	15 min	20 min
PING GATEWAY	UTP	0	0	0	0	0
	PLC	2	3	3	3	3

Fonte: O autor

Figura 25. Resultado do ensaio parâmetro PING para gateway



Fonte: O autor.

Como pode ser observado no gráfico, o tempo de resposta obtido no teste de comunicação com o gateway da rede se utilizando o cabo metálico de par trançado UTP foi menor que se utilizando PLC, porém a diferença não é significativa comparando-se as duas tecnologias. Portanto o tempo de resposta da tecnologia PLC nessa condição é considerado satisfatório e não comprometeu em nenhum momento a transmissão dos dados.

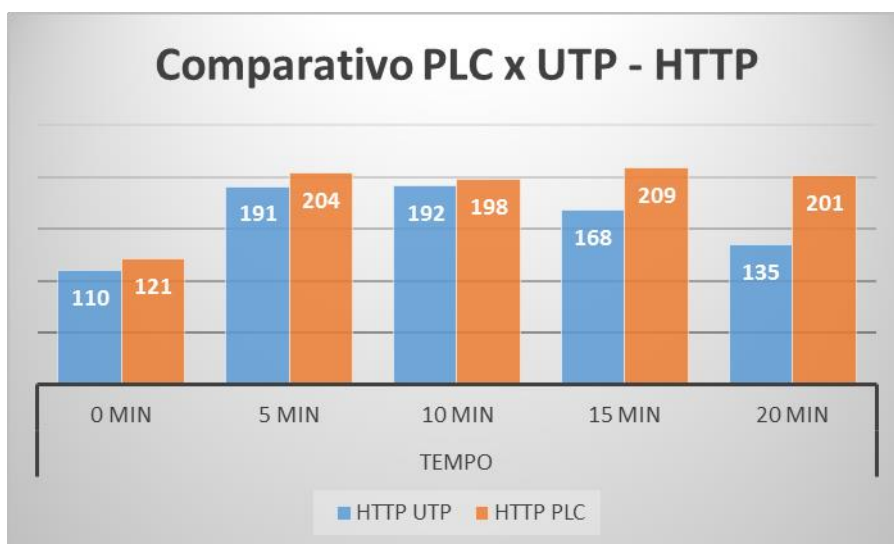
5.2 HTTP

Tabela 2. Resultado parâmetro HTTP

PLC x UTP						
PARÂMETRO(ms)		TEMPO				
		0 min	5 min	10 min	15 min	20 min
HTTP	UTP	110	191	192	168	135
	PLC	121	204	198	209	201

Fonte: O autor.

Figura 26. Resultado do ensaio parâmetro HTTP



Fonte: O autor.

Conforme pode-se observar no gráfico a tecnologia PLC se manteve com um maior tempo de resposta se comparada ao cabo metálico de par trançado UTP,

porém o tempo de resposta após os cinco minutos se tornou quase que uma constante, já o cabo metálico passou por algumas oscilações.

Sendo assim podemos concluir que mesmo com um tempo de resposta maior, porém não significativo, houve também uma estabilidade maior, comprovando assim que a tecnologia PLC é satisfatória para transmissões HTTP.

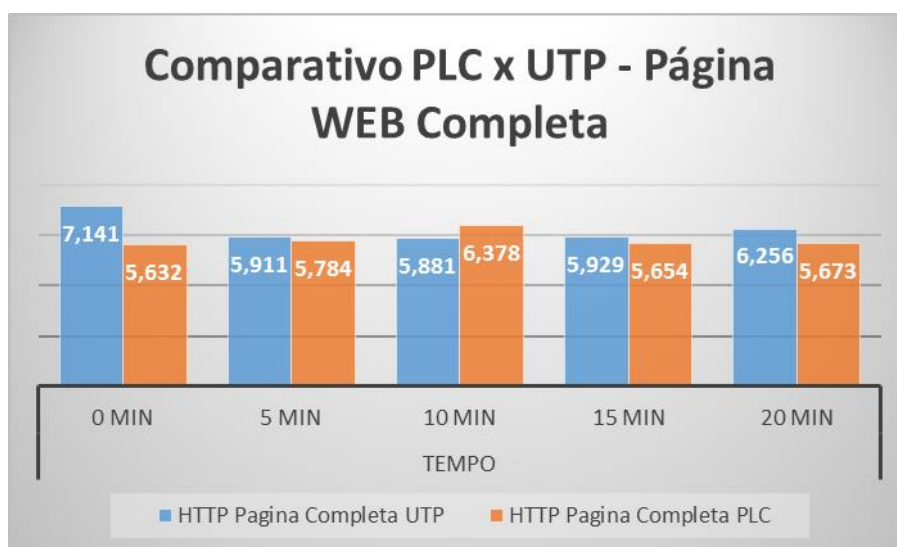
5.3 HTTP DE PÁGINA COMPLETA

Tabela 3. Resultado parâmetro HTTP de página completa

PLC x UTP						
PARÂMETRO (ms)		TEMPO				
		0 min	5 min	10 min	15 min	20 min
HTTP Pagina Completa	UTP	7,141	5,911	5,881	5,929	6,256
	PLC	5,632	5,784	6,378	5,654	5,673

Fonte: O autor.

Figura 27. Resultado do ensaio parâmetro HTTP de página completa



Fonte: O autor.

Como podemos observar no gráfico a tecnologia PLC teve um desempenho superior no carregamento completo da página www.ufsc.br, levando um menor tempo para fazer o download da página completa. Mesmo não sendo uma diferença considerável em relação ao cabo metálico de par trançado UTP, a

tecnologia se mostrou superior durante a maior parte dos testes, comprovando assim sua eficácia.

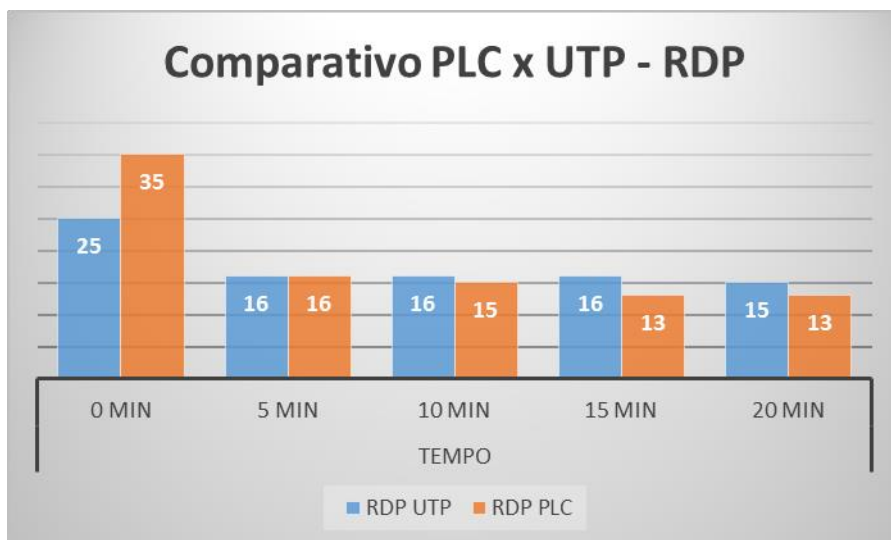
5.4 RDP

Tabela 4. Resultado parâmetro RDP

PLC x UTP						
PARÂMETRO(ms)		TEMPO				
		0 min	5 min	10 min	15 min	20 min
RDP	UTP	25	16	16	16	15
	PLC	35	16	15	13	13

Fonte: O autor.

Figura 28. Resultado do ensaio parâmetro RDP



Fonte: O autor.

Como podemos observar no gráfico a tecnologia PLC se mostrou superior durante a maior parte do andamento dos testes, a não ser no início dos mesmos quando a rede PLC levou um tempo maior ao fazer a transferência dos dados do protocolo RDP.

A diferença entre as duas tecnologias não foi significativa, porém podemos observar que a tecnologia PLC se mostrou eficaz na transmissão dos

dados via RDP, sendo assim não afetaria a transmissão do desktop remoto em tempo real.

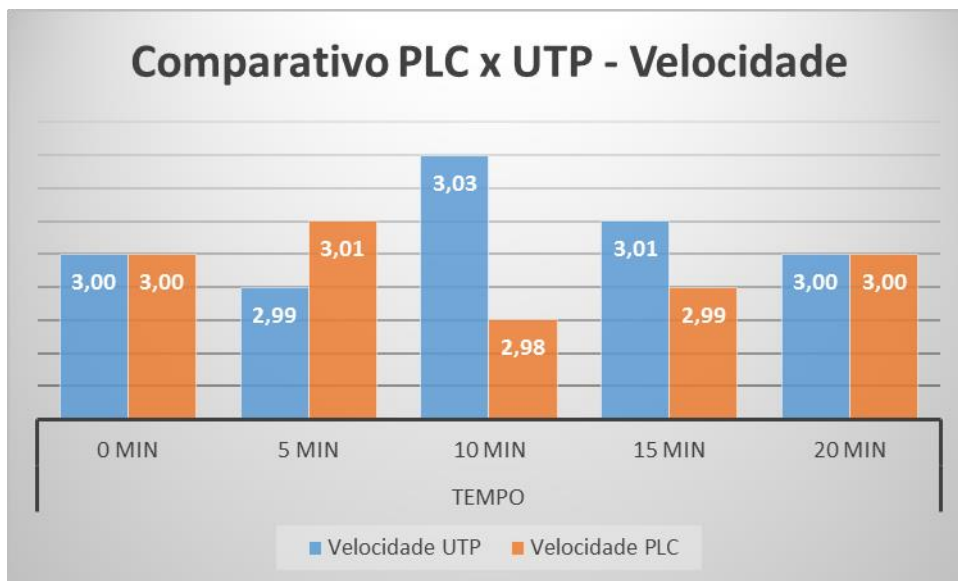
5.5 TESTE DE VELOCIDADE

Tabela 5. Resultado parâmetro velocidade

PLC x UTP						
PARÂMETRO (Mbps)		TEMPO				
		0 min	5 min	10 min	15 min	20 min
Velocidade	UTP	3,00	2,99	3,03	3,01	3,00
	PLC	3,00	3,01	2,98	2,99	3,00

Fonte: O autor.

Figura 29. Resultado do ensaio parâmetro Velocidade



Fonte: O autor.

Como podemos observar no gráfico gerado a partir das velocidades aferidas as duas tecnologias tiveram pequenas oscilações da banda aferida, porém nada muito significativo e que possa impossibilitar o uso das tecnologias. No geral as duas tecnologias se mantiveram constantes e conseguiram trafegar a largura de banda que havia disponível, no caso 3 Mbps.

Sendo assim podemos concluir que apesar das pequenas oscilações, a tecnologia PLC se mostrou satisfatória para o transporte de banda de internet.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Normalmente quando pensamos em internet sob rede elétrica pensamos em algo futurístico, fora da nossa realidade, contudo como se pode observar com o desenvolvimento do trabalho, é algo real e presente em nosso cotidiano, porém ainda muito pouco utilizado, tanto por questões físicas e estruturais (redes elétricas precárias), regulamentais (ainda se trata de uma tecnologia não regulamentada pelos órgãos competentes) e também por falta de conhecimento técnico e científico, pois por mas que existem diversas pesquisas na área, ainda falta conhecimento técnico especializado para aplicação.

Contudo podemos frisar que apesar de todos os empecilhos que se fazem presentes no caminho da tecnologia PLC, a mesma como se pode observar através do desenvolvimento desse trabalho se mostra crescente e a cada dia que passa ganha mais adeptos, estes dispostos a torná-la um dos novos meios de transmissão de dados.

Através do desenvolvimento dessa pesquisa e análise dos resultados obtidos em bancada de laboratório, pude concluir que a tecnologia PLC é viável para utilização em cenários indoor, em redes LAN, quando comparada com cabo metálico de par trançado. A tecnologia pode ser utilizada para ligação entre dois pontos aonde não se faz possível a passagem de cabos metálicos de par trançado, como foi proposto no estudo. Como podemos observar a tecnologia se comportou muito bem, se manteve estável, não demonstrou nenhum tipo de perda e em alguns momentos se mostrou superior ao cabo metálico de par trançado. Em um comparativo geral se mostrou eficaz para utilização em redes LAN, alcançando assim o objetivo geral proposto nesse trabalho.

Além dos resultados obtidos a tecnologia tem outras vantagens que podemos levar em contato para implantação em redes locais, como por exemplo de utilizar a estrutura física já existente no local, uma vez que se utiliza da rede de energia elétrica para transmissão dos dados. Contudo isso deve ser um dos pontos a serem observados no momento da implantação da tecnologia, pois uma vez que tenhamos uma rede elétrica de má qualidade, o serviço de PLC também terá uma qualidade inferior.

A tecnologia PLC vem crescendo e se desenvolvendo a cada dia que passa, e como já destacado no trabalho atualmente existem diversas empresas ao redor do mundo que buscam melhorar a qualidade dessa tecnologia e quem sabe não resolver problemas em cenários indoors como foi o caso da pesquisa, mas sim em cenários outdoor, levando acesso à internet até a última milha, e realizando a inclusão digital nessas áreas, nos tornando assim cada vez mais conectados.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Maria Margarida. **Introdução à Metodologia do Trabalho Científico: elaboração de Trabalhos na Graduação**. 7a ed. São Paulo: Atlas S. A. 2005.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Hot Site PLC** Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/hotsite/plc/index.cfm?id=1739>. Acesso em: 10 de agosto de 2015.

BAPTISTA, Manoel Carlos Pereira. **Identificação e caracterização dos sinais digitais**. Departamento de eletrônica, telecomunicações e informática da Universidade de Aveiro, 2008.

CAVALCANTE, André Nascimento; MENESES, Lair Aguiar de. **Transmissão de dados via rede elétrica**. Engenharia de Telecomunicações, Instituto de Estudos Superiores da Amazônia – IESAM, 2008.

CAVALCANTE, Tiago Francisco Barros. **Um estudo comparativo entre BPSK e QAM, utilizando OFDM, com aplicação aos sistemas móveis de quarta geração**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, Niterói, 2010.

CORRÊA, Josias R. **PLC - Power Line Communications**. 2004. 51 f. Projeto de Final de Curso (Graduação) – Bacharelado em Sistemas de Informação. União Educacional de Minas Gerais, Uberlândia, 2004. Disponível em: . Acesso em: 25 de agosto. 2015, 22:45.

DIEHL, Astor Antonio. **Pesquisa em ciências sociais aplicadas: métodos e técnicas**. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

DUQUE, Barbara. **Domínio de tecnologia permite transmissão de dados via rede elétrica**. 2015. Disponível em: <http://www.ufjf.br/revistaa3/files/2014/08/REVISTA7CS6_DAL_VERSION_web_12_15.pdf>. Acesso em: 12 out. 2015.

FONSECA, J.J.S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.

GIL, Carlos Antonio. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GUNGOR, V.C.; Lambert F.C., **A survey on communication networks for electric system automation**. School of Electrical and Computer Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, 2006.

HARAD, S.; PRASAD, R. **Multicarrier techniques for 4G mobile communications**. Norwood, MA, USA: Artech House, Inc., 2003.

LIBÓRIO, Raul. **Infra-estrutura de redes locais de computadores: Cabos Coaxiais e UTP**. Disponível em: <<http://pt.slideshare.net/rauhmaru/cabos-coaxiais-e-utp>>. Acesso em: 10 out. 2015.

MALATHI, P.; Vanathi, (2007). **Power Line Communication using OFDM and OGA**. AIML Journal, ECE Departament, PSG College of Tech, India.

MORIMOTO, Carlos E. **Redes, guia prático**. 2. ed. São Paulo: Gdh Press e Sul Editores, 2013.

PINTO, Ernesto Leite; ALBUQUERQUE, Claudio Penedo de. **A técnica de transmissão OFDM**. Revista científica periódica – Telecomunicações. Volume 05 – Número 01, junho de 2002. ISSN 1516-2338

ROSA, Magali da. **Monitoramento de temperatura do motor do aro gerador de pequeno porte utilizando power line communication - PLC**. 2012. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Minas Metalúrgica e Minerais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

SANTOS, Túlio Ligneul. **Power Line Communications**. Disponível em: <http://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2008_2/tulio/Fontes.htm>. Acesso em: 14 out. 2015.

SANTOS JÚNIOR, Josafá Alves dos; SILVA, Elisângela dos Santos. **Redes PLC I: Alternativa para Acesso Banda Larga**. 2010. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialredesplc1/default.asp>>. Acesso em: 6 out. 2015.

SOARES, Pedro Hugo Anselmo. **Análises de soluções tecnológicas para comunicações Power Line Carrier (PLC)**. Dissertação realizada no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2010.

TACHIZAWA, Takeshy. **Como fazer monografia na prática**. 12 ed. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2006.

TANENBAUM, Andrew S; SOUZA, Vandenberg D. **Redes de Computadores**. 4. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2005. 945 p.

TEIXEIRA, Edson Rodrigues Duffles. **PLC - Power Line Communications**. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialplc/default.asp>>. Acesso em: 8 out. 2015.

TIBALDI, Carla M. **PLC: Power Line Communications**. Artigo apresentado como atividade complementar, 7 p. Centro Federal de Educação Tecnológica de Mato Grosso, Cuiabá, Mato grosso do Sul, 2007.

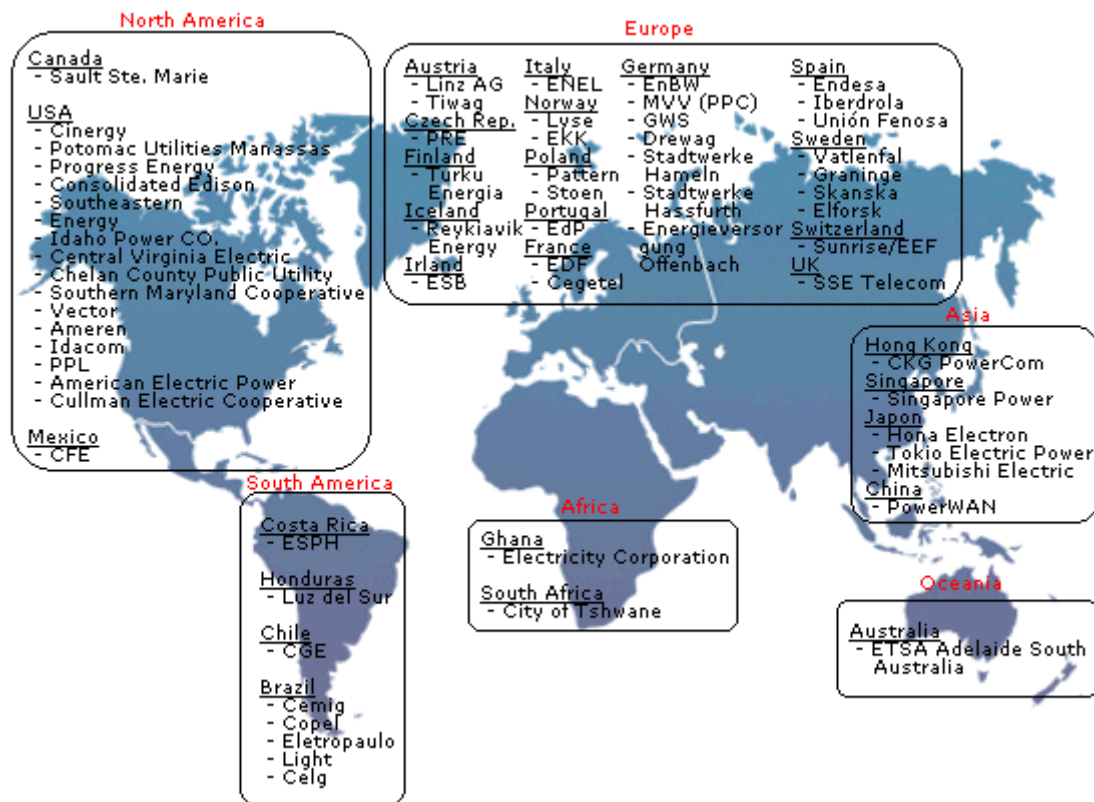
TORRES, Gabriel. **Redes de Computadores: Versão revisada e atualizada**. 2. ed. São Paulo: Nova Terra, 2014.

VALDIVIA, Carla Ferrel; **Comunicação de dados através da tecnologia PLC via rede elétrica.** Faculdade de Engenharia da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul – PUC, 2006.

VIDAL, Alexandre de Moura; **Estudo do estado da arte e análise de desempenho de sistemas de comunicação PLC de banda larga.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica – Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 2005.

ANEXOS

ANEXO A – “Experimentos de PLC ao redor do mundo”



Fonte: Arthur D. Little.

ANEXO B “Bancada de Testes PLC”



Fonte: O autor.

ANEXO C “Bancada de Testes Cabo UTP”



Fonte: O autor.